

吸音壁をもつフローダクト内音場の一様流による変化

Dependence of the uniform flow on the sound field in a flow duct with a sound absorbing wall

研究背景

工場やエンジンの排気ダクト等の騒音

騒音低減が重要視

吸音材をダクト内に張り付けた吸音ダクト等を用いた騒音低減

吸音性能をよくなる需要が高まる

吸音材の吸音性能の評価

無次元比音響インピーダンス ζ

$$\zeta = \frac{1}{\rho c u} p = \theta + i\chi$$

p : 音圧, ρ : 媒質密度, c : 媒質内の音速, u : 粒子速度
 θ : レジスタンス, χ : リアクタンス

吸音率 α

$$\alpha = \frac{4\theta}{(1+\theta)^2 + \chi^2}$$

本研究

一様流の影響を考慮して吸音性能のよいインピーダンス変化の調査

音波・音場の特徴

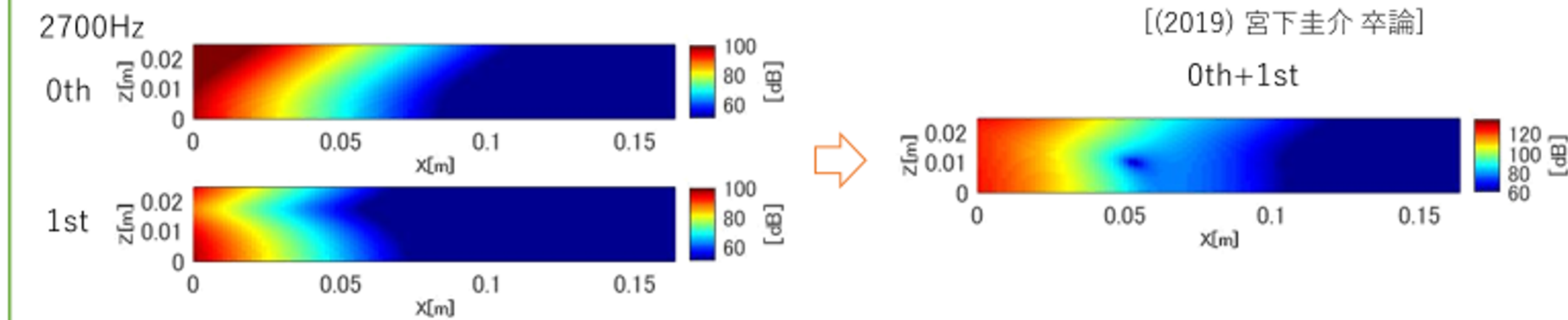
単一周波数の音を与えると、複数のモードの音の波面が現れる



音の減衰量の最も小さい0次モードの音場が顕著

先行研究

0次モードの音の減衰量が大きいと1次モードの影響が出る場合もある



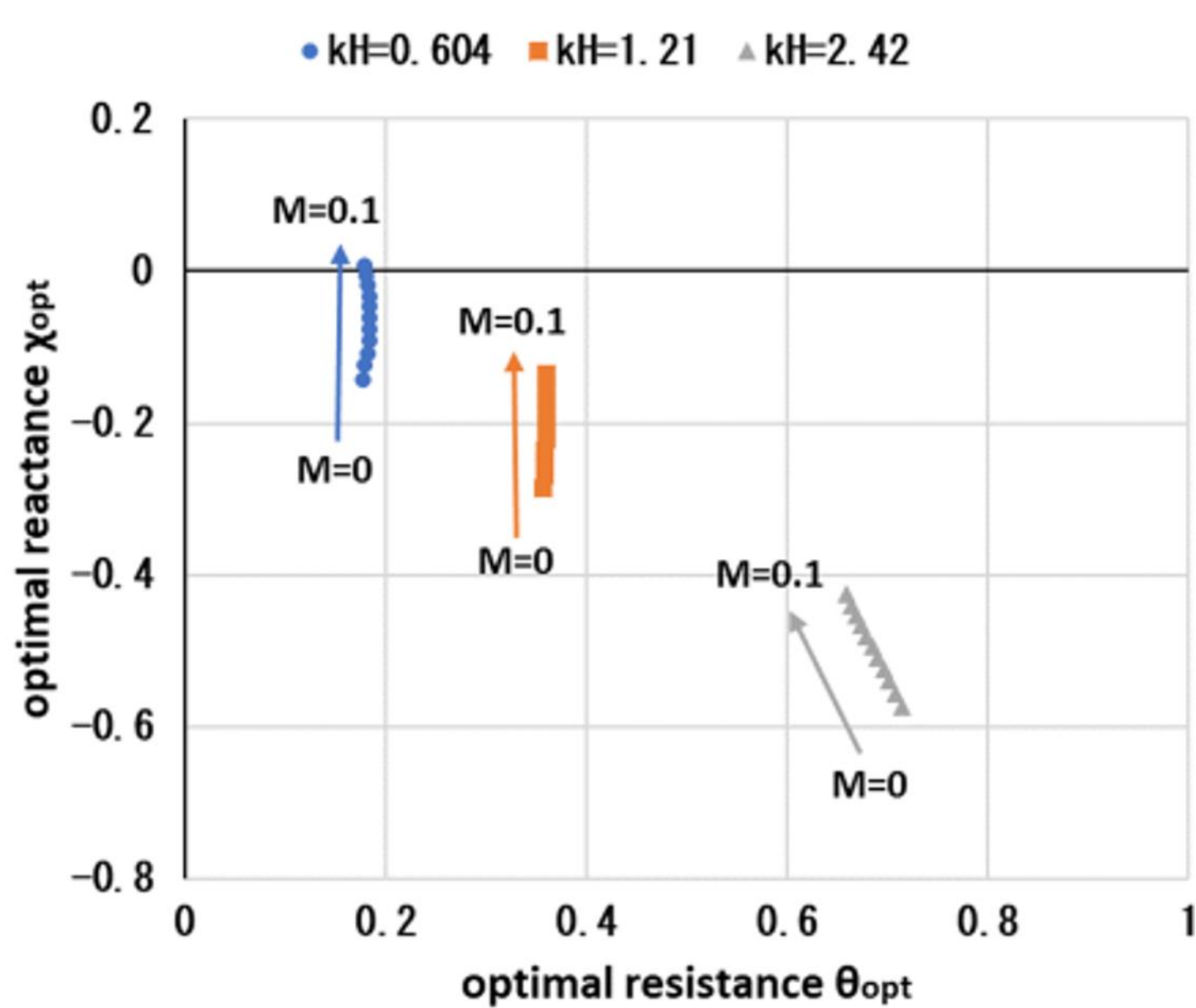
0次モードの減衰量が大きくなるようにインピーダンスを変更すると、1次モードの音の減衰量が小さくなる(トレードオフの関係)
→ 0次モードと1次モードの音の減衰量が一致するインピーダンスが存在

最適インピーダンス

一様流の増加に伴う最適インピーダンスの変化の調査

結果

最適インピーダンス ζ_{opt} の変化 ($0 \leq M \leq 0.1$)

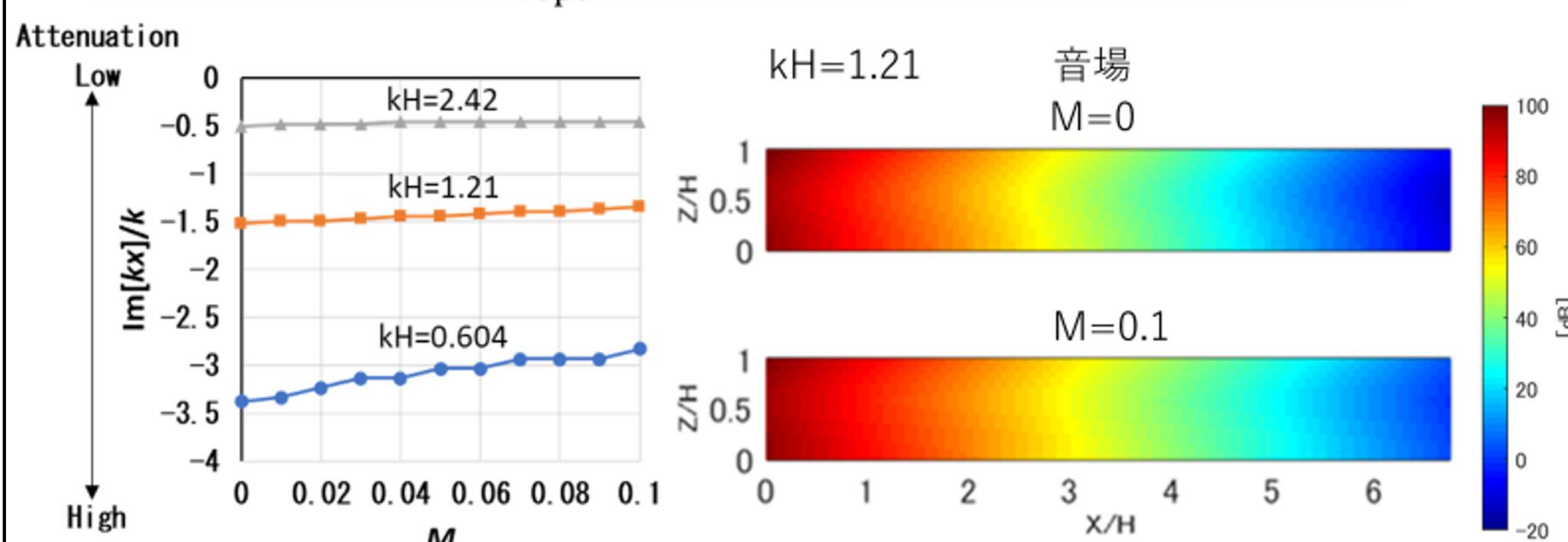


M の増加に伴って…
 χ_{opt} → 大きくなる
 θ_{opt} → あまり変化しない

θ が変化…音の抵抗が大きくなる
 χ が変化…周波数特性が変化

ζ_{opt} の一様流による変化は周波数特性に関与

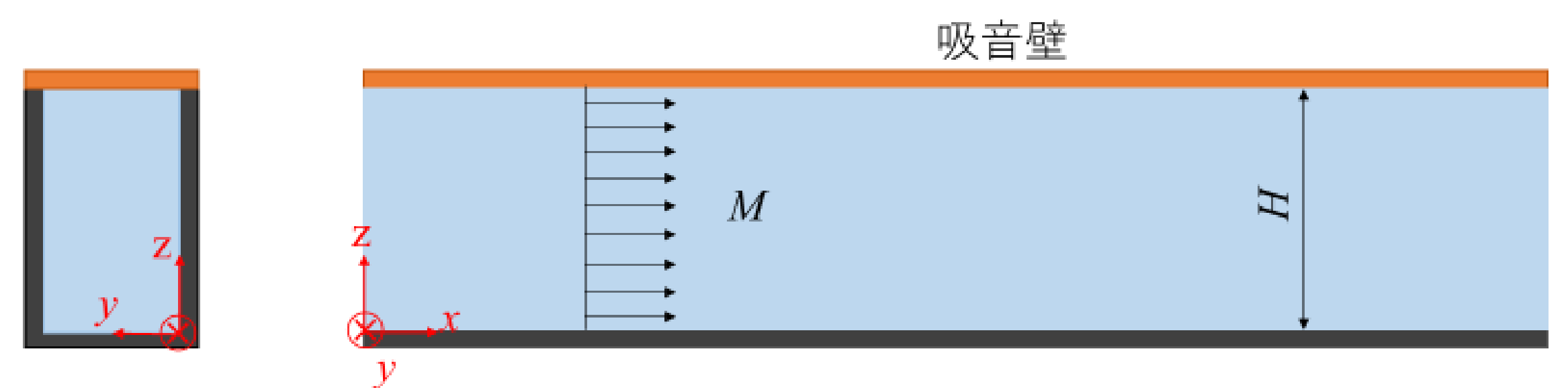
最適インピーダンス ζ_{opt} における音の減衰量の変化 ($0 \leq M \leq 0.1$)



M の増加に伴って…
 $\text{Im}[k_x]/k$ は大きくなる(音の減衰量が小さくなる)

問題設定

- 最も単純な一面が吸音壁で他三面が剛壁の矩形ダクトを仮定
- ダクト長手軸方向に x 軸, 長手軸方向に垂直な方向に z 軸, 奥行き方向に y 軸をとる
- $z=H$ の面が吸音壁であると仮定
- 一様流のマッハ数 M が流れていると仮定



計算方法

固有方程式から伝播定数を計算し、減衰量が一致するインピーダンスを見つける

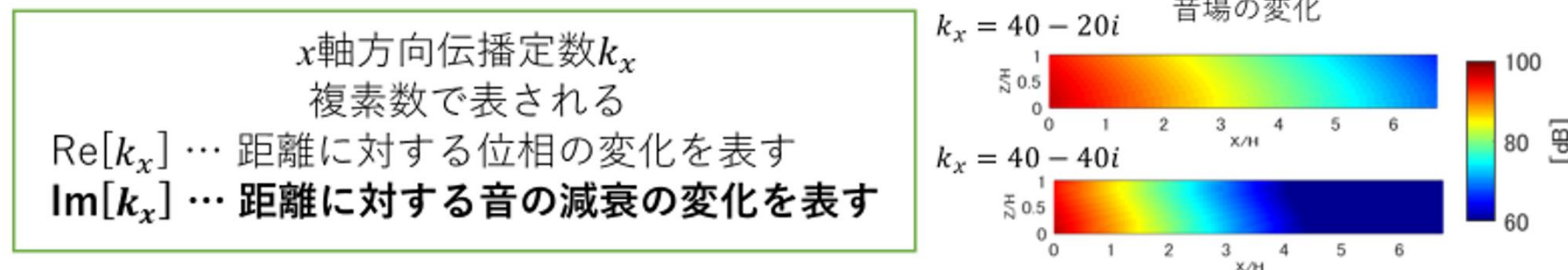
固有方程式

$$\zeta = -\frac{k}{k_z} \left[\frac{1}{1-M^2} \left\{ 1 \mp M \sqrt{1 - (1-M^2) \left(\frac{k_z}{k} \right)^2} \right\} \right]^2 \frac{1}{\tanh\left(i \frac{k_z}{k} kH\right)}$$

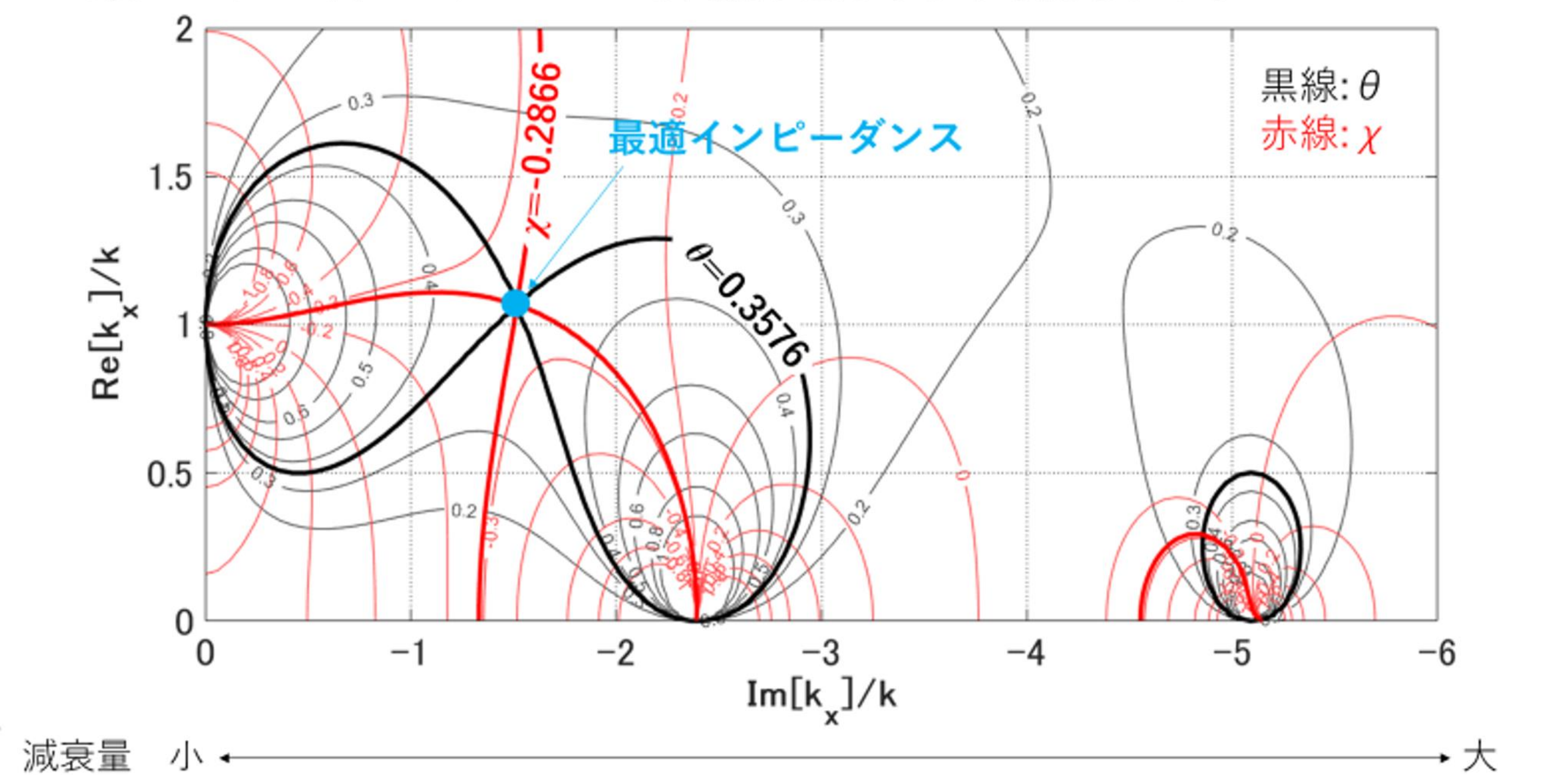
分散関係式

$$\frac{k_z}{k} = \sqrt{1 - 2M \frac{k_x}{k} - (1-M^2) \frac{k_x^2}{k^2}}$$

ζ : インピーダンス
 k : 波数
 H : ダクト寸法
 k_z : z 軸方向伝播定数
 k_x : x 軸方向伝播定数



以下の図のように、 $\zeta = \theta + i\chi$ について、 θ と χ の等高線を描き、0次モードと1次モードの2つの等高線が重なるような点を求める



まとめ

0次モードと1次モードの伝播定数が一致するインピーダンスとして最適インピーダンス ζ_{opt} が求められた

最適インピーダンス $\zeta_{opt}(= \theta_{opt} + i\chi_{opt})$ の一様流による変化

$0 \leq M \leq 0.1$ の範囲で
マッハ数 M が増加
 χ_{opt} → 大きくなる
 θ_{opt} → あまり変化しない
→ 周波数特性に関与
音の減衰量 → 小さくなる